

ひび割れ引張応力度がコンクリート矩形床板の衝撃挙動に及ぼす影響

専修大学北海道短期大学 正会員 三上 敬司

1. まえがき

土木学会衝撃問題研究会では荷重入力による鉄筋コンクリートはりの弾塑性衝撃解析に関するベンチマーク解析を行っている。RC はりの弾塑性解析には FEM, DEM の自作や市販の汎用コード (LS-DYNA) を用いて行っている。その結果、各解析法における変位波形には弾性的な挙動かまたは弾塑性的な挙動を示していることから、各解析法によって結果にばらつきがあると報告している。そこで、本解析に用いた三次元弾塑性有限要素法の動的応答解析がいずれかの挙動を示すかを検証することも重要な課題の1つと考える。

本研究では弾・粘塑性のモデル化に降伏面と強度限界面と仮定した場合、ひび割れ引張応力度が衝撃荷重を受ける四辺単純支持コンクリート矩形床板の弾塑性挙動に及ぼす影響に関して実験結果と比較検討する。

2. 実験の概要

衝撃実験はブリティッシュ・コロンビア大学土木工学科に設置されている大型衝撃実験装置を用いて行った。衝撃力は質量 578kg の重錘を落下高さ $H=250\text{mm}$ から自由落下させることによって発生させている。なお、重錘の先端 (Tup) 形状は平底で直径が 100mm の円形である。試験体は形状寸法が $400 \times 400 \times 75\text{mm}$ のコンクリート矩形床板で、図-1 に示したように幅 50mm 四方の鋼製支持台上に単純支持されている。こ

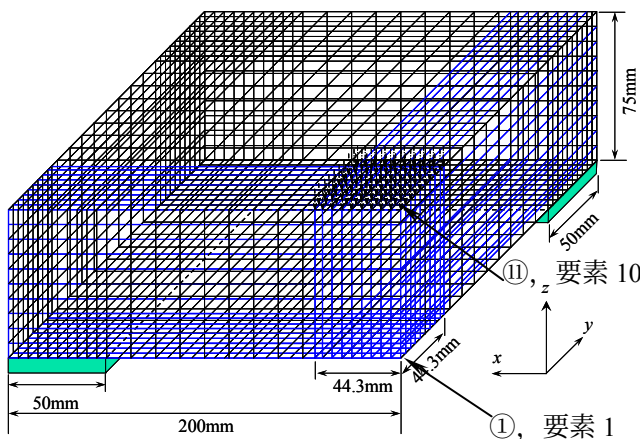


図-1 本解析モデル (実寸法の 1/4)

れより、スパン長は 300mm である。また、重錘が受ける衝撃力は Tup 内に埋め込まれているロードセルによって測定されている。床板中央裏面には床板載荷点直下の変位と床板の慣性力を求めるために加速度計が取り付けられている。なお、コンクリートの 28 日圧縮強度が $f'_c=40\text{N/mm}^2$ になるように配合設計を行った。

3. 動的解析

3.1 コンクリート材料の降伏関数

本研究に用いた降伏関数はコンクリートの材料非線形モデルの圧縮挙動を弾・粘塑性のモデル化に降伏面 F_0 と強度限界面 F_f と仮定した場合 (Concrete3D と呼ぶ) を用いた。また、引張挙動は、引張剛性に e 関数を用いてひび割れ発生後のモデル化を行い、ひび割れ発生モデルには一様ひび割れモデル (Smeared Model) を用いた。

3.2 数値解析結果

図-1 に示した本解析モデルをコンクリート床板の 1/4 モデルとして、要素全体は 8 節点固体要素でモデル化している。節点数は 9,251 個、要素数は 7,840 個である。支持条件は供試体が周辺単純支持されていることにより、支持部の z 方向の変位 517 点を拘束している。荷重は実験データより得られた衝撃荷重を図-1 に示したようにモデル上部 100 節点に作用させている。なお、載荷幅は実験に用いた重錘底面積を等分布荷重かつ $44.3 \times 44.3\text{mm}$ の矩形面積に換算して作用させている。実験結果より、コンクリート材料の物理定数はコンクリートの密度が $\rho = 2.4\text{t/m}^3$ 、ポアソン比が $\nu=0.2$ 、降伏応力度 $\sigma_0=0.3f'_c$ 、ひび割れ引張応力度が $f_t=5.4, 6.3, 7\text{ N/mm}^2$ 、破壊ひずみが $\epsilon'_{cu}=0.003$ である。数値積分は時間刻み $80\mu\text{sec}$ で Newmark β 法 ($\beta_1=0.25, \gamma_1=0.5$) を用いて行った。減衰項には要素全体に Rayleigh 減衰を用い、その減衰定数 h を 0.05 とした。

3.3 解析結果

図-2(a)~(d)はひび割れ引張応力度 $\sigma_{cr}=5.4, 6.3, 7$

キーワード：三次元有限要素法、弾塑性衝撃応答解析、ひび割れ引張応力度、ひび割れ分布

連絡先：専修大学北海道短期大学 (〒079-0197 美唄市字美唄 1610-1, TEL 0126-63-0249, FAX 0126-63-3097)

N/mm^2 における節点 1, 11 の z 方向変位, 要素 1, 10 の x 方向応力度の時刻歴応答波形を示している. なお, (a)図には実験結果で得られた加速度値を 2 回積分して求めた載荷点直下における鉛直方向変位を示している.

(a)図における鉛直変位では σ_{cr} が小さくなるに従って最大応答変位値が大きくなかつ僅かながら周期も長くなるものの, 除荷後の自由振動挙動ではいずれの場合もほとんどドリフトせずに弾性挙動のように振動している. 一方, 実験値と両解析値を比較すると, いずれの解析値も衝撃初期の約 3msec まで実験値とほぼ一致している. (b)図より, い

ずれの応答変位も載荷時間内まで(a)図とほぼ同様な傾向を示しているものの, 自由振動挙動では僅かながら上方へドリフトして振動していることがわかる. (c)図では引張側, (d)図では圧縮側の x 方向応力度を示していることがわかる. 図-3 は任意時間ごとの $\sigma_{cr}=5.4 \text{ N/mm}^2$ の場合におけるコンクリート床板の変位分布を示している.

特に $t=2.48\text{msec}$ における載荷点近傍の変位量が大きくなっていることから, (b)図における除荷後の自由振動挙動では塑性変形しているものと考えられる. 図-4 は各ひび割れ引張応力度および実験結果におけるコンクリート床板(1/4 モデル)のひび割れ分布を示している. 解析におけるひび割れはコンクリート板のひび割れ分布上に赤色で示している. 各解析結果では載荷点中央部から十字方向にひび割れが拡がり, ひび割れ引張応力度が低くなるに従ってひび割れがやや進行していることがわかる. これより, $\sigma_{cr}=5.4\text{N/mm}^2$ の場合がコンクリート床板のひび割れ分布に概ね酷似しているものと考えられる.

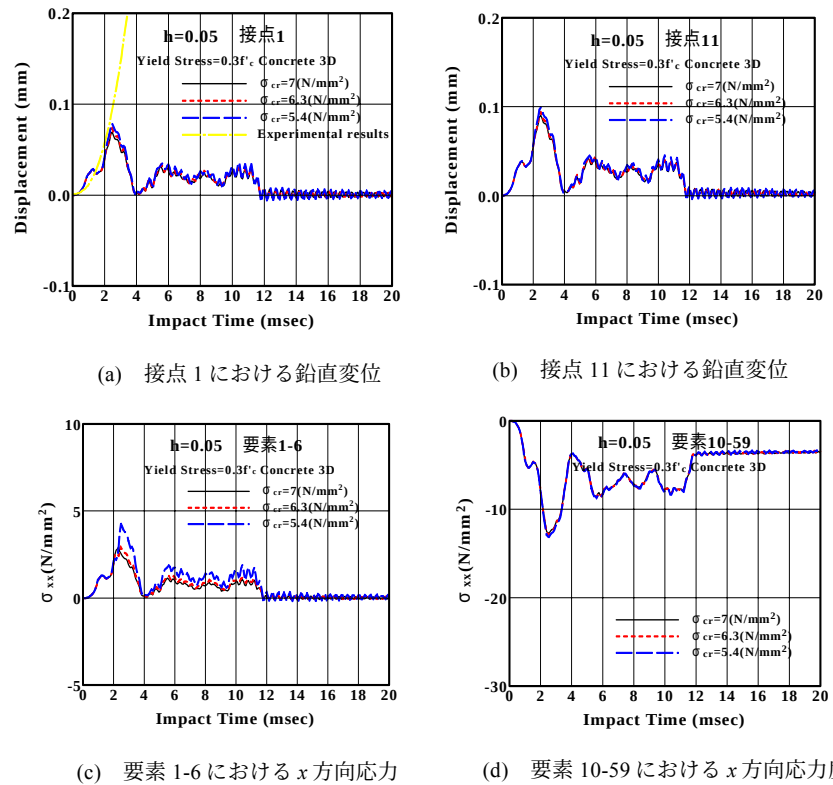


図-2 各接点, 各要素における z 方向変位, x 方向応力度の時刻歴応答波形

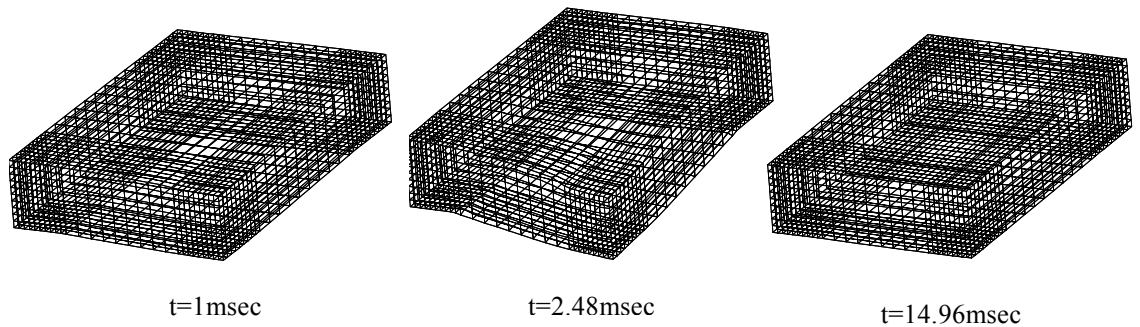


図-3 コンクリート床板の変位分布($\sigma_{cr}=5.4 \text{ N/mm}^2$)

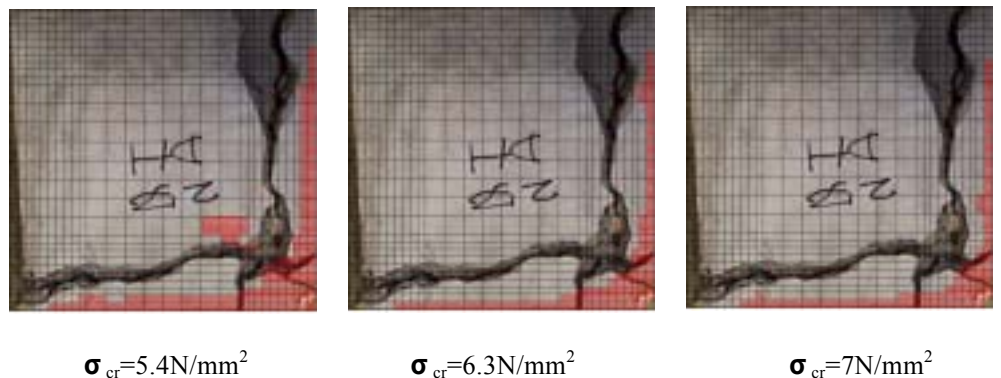


図-4 コンクリート床板裏面のひび割れ位分布($t=14.96\text{msec}$)